



## Forschung

# Innovative Konzepte zur Bahnübergangssicherung

**Dipl.-Ing. Markus Pelz,**  
Deutsches Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrs-  
systemtechnik, Braunschweig



Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) ist eine Technologieforschungseinrichtung in Deutschland, die sich auch mit Fragestellungen im Bereich der Eisenbahn befasst. Ein Bestandteil dieser Forschungsaktivitäten ist die Bahnübergangssicherung. Das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik am Standort Braunschweig untersucht in diesem Zusammenhang neuartige Technologien und entwickelt betriebliche Verfahren zur Optimierung der Bahnübergangssicherung.

Ein Projekt des DLR erforscht ein Ablösekonzept für das Verfahren „Anrufschränke“ unter Verwendung eines Stereo-Kamera-Systems, ein anderes Projekt die Optimierung von Schließzeiten. Der Schwerpunkt eines dritten Projektes liegt auf der Untersuchung des Menschen und seinem Verhalten am Bahnübergang. In diesen und weiteren Themen stehen die DLR-Wissenschaftler seit Jahren im fachlichen Austausch mit der DB Netz AG, insbesondere mit den Mitarbeitern von I.NVT 3. Das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik unterstützt dabei die DB Netz AG bei deren Bemühungen, Konzepte für eine innovative Bahnübergangssicherung zu identifizieren und voranzubringen.

Für die Beantwortung verschiedenster Fragestellungen wird derzeit damit begonnen, einen Forschungsbahnübergang zu errichten. Hierzu wird ein bestehender Bahnübergang mit umfangreicher Infrastruktur ausgerüstet (Sensoren, Haltevorrichtungen etc.), so dass Hersteller, Betreiber und wissenschaftliche Einrichtungen ihre innovativen Konzepte im realen Feld erproben können. Der Forschungsbahnübergang ist dabei einer von mehreren Basisdiensten, die innerhalb der neuen „Anwendungsplattform Intelligente Mobilität“ (AIM) im Stadtgebiet von Braunschweig entsteht. AIM wird durch Gelder der Helmholtz-Gesellschaft und durch das Land Niedersachsen gefördert und durch das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik bis Ende 2013 aufgebaut.

Der vorliegende Beitrag stellt Konzepte für die Gefahrenraumüberwachung und die Automatisierung des Sicherungsverfahrens Anrufschränke aus der Forschung des DLR vor, die zukünftig zur Bahnübergangssicherung beitragen könnten.

## Bedarf und aktuelle Herausforderungen

Die Bremswege der Schienenfahrzeuge übersteigen sehr oft die Sichtweite der Triebfahrzeugführer um ein Vielfaches, weshalb insbesondere an Bahnübergängen besondere Maßnahmen zur Wahrung der Sicherheit erforderlich sind. Aufgrund des Gefährdungspotenzials durch Fehlhandlungen zumeist seitens der Straßenverkehrsteilnehmer gibt es weltweit die Bestrebung, Bahnübergänge zu beseitigen.

Im deutschen Streckennetz der bundeseigenen und nicht-bundeseigenen Eisenbahnen existieren noch insgesamt etwa 26.000 Bahnübergänge; allein im Netz der DB AG gibt es zurzeit noch etwa 20.000, bei denen zwischen technischer





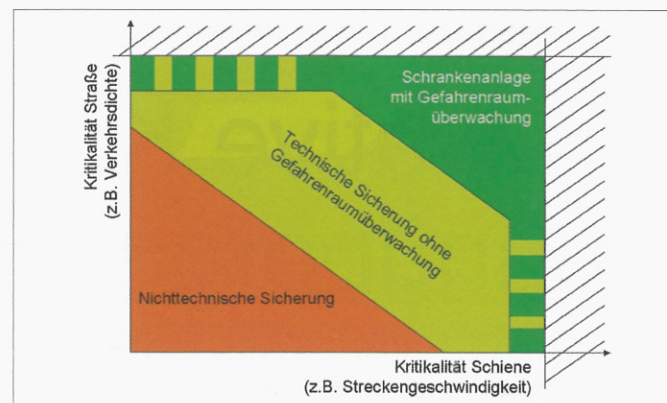
Funktionsdemonstrator der DLR-Stereo-Kamera

und nichttechnischer Sicherung unterschieden wird. Sobald eine technische Sicherung erforderlich ist, werden Bahnübergangssicherungsanlagen (BÜSA) eingesetzt, die in straßen- und schienenseitige Sicherungsmaßnahmen unterteilt werden. Die Abbildung rechts oben erläutert grafisch die aus den verschiedenen Kritikalitäten resultierenden Bereiche der Bahnübergangssicherung.

Im Bereich der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik (LST) bedingt die Überalterung des Anlagenbestands in den kommenden Jahren umfangreiche Investitionsmaßnahmen. Dieser Effekt wird bei Sicherungsanlagen an Bahnübergängen evident. Der Bedarf an neuen ganzheitlichen BÜSA-Konzepten, welche betrieblich geeignete und wirtschaftliche Sicherungskonzepte ermöglichen oder insbesondere bei einzelnen Technologien, wie der technischen Gefahrenraumüberwachung, die Kosten reduzieren lassen, ist hoch und wird in den kommenden Jahren weiter ansteigen. Monetäre wie nicht-monetäre Anforderungen an die Gestaltung neuer BÜSA-Konzepte zeigen das dabei zu berücksichtigende Spannungsfeld auf: Größtmögliche Sicherheit, geringe Lebenszykluskosten (LCC: life cycle costs) und kleinstmögliche Behinderung des Straßenverkehrs stehen der Forderung nach einer hohen Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke gegenüber. Die DB Netz AG befasst sich daher intensiv mit neuen Konzepten zur Bahnübergangssicherung.

Die Identifikation neuer Technologiekonzepte ist eine Voraussetzung, um die Sicherheit und Leistungsfähigkeit des Schienennetzes nachhaltig effizient zu gestalten. Komponenten aus der Industrieautomatisierung werden aufgrund ihrer hohen Stückzahlen zukünftig zur Senkung der LCC im Bahnbereich beitragen können. Beispielsweise werden Commercial-off-the-shelf (COTS)-Komponenten aus dem Automobilbereich unter ähnlichen Umgebungsbedingungen, wie sie am Bahnübergang vorkommen können, in Sicherheitssysteme eingesetzt. Dazu gehören unter anderem Systeme, die das Erkennen von Hindernissen auf dem Fahrweg ermöglichen.

Die DB Netz AG unterstützt den Einsatz wirtschaftlicher Industriekomponenten, denn nur durch Senkung von Markteintrittsbarrieren für beispielsweise COTS-Komponenten ist langfristig eine Steigerung der Erneuerungsrate bei der gesamten LST umsetzbar. Das DLR forscht an neuen Konzepten auf Basis bisher bahnfremder Technologien für den Einsatz im Bereich der Gefahrenraumüberwachung und Anrufschrakenautomatisierung und unterstützt so die Arbeiten der DB Netz AG.



Einteilung der Bahnübergangssicherung nach Kritikalitäten

## Aktueller Stand

Schraken mit vollständigem Abschluss erfüllen die Forderung nach höchster Sicherheit am Wirksamsten, da diese im Normalfall nicht umfahren oder umgangen werden können. Im Umkehrschluss ist es möglich, dass Straßenverkehrsteilnehmer zwischen den Schranken eingeschlossen werden. Deshalb muss dort sichergestellt werden, dass keine Hindernisse, beispielsweise Kraftfahrzeuge (Kfz) und andere Fahrzeuge (wie Fuhrwerke, Gespanne), unentdeckt bleiben. Nach der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO – §11, Absatz 16) ist deshalb beim Einsatz von Schranken mit vollständigem Abschluss eine Gefahrenraumüberwachung erforderlich. Um den Gefahrenraum zu überwachen, werden Bediener oder technische Gefahrenraumfreimeldeanlagen (GFR) eingesetzt.

Durch die unmittelbare Sicht eines Bedieners auf den Bahnübergang ist in Deutschland nichttechnisch eine Gefahrenraumüberwachung durchführbar. Ist die direkte Sicht nicht möglich, wird diese mittelbar durch eine am Bahnübergang installierte Kamera und der TV-Bildübertragung auf den Monitor beim Bediener hergestellt. Einzig bei Anrufschraken ist das Überwachen des Gefahrenraums per Hinhören (Lauschen des Bedieners der Geräusche des fahrenden und abrückenden Fahrzeugs) realisiert. Dieses Verfahren ist nur bei Bahnübergängen möglich, bei denen es aufgrund der geringen Straßenbreite keinen Begegnungsverkehr gibt.

Laut der Richtlinie 819 der Deutschen Bahn AG – Signalanlagen planen und vorhalten – kann in Deutschland eine GFR durch Radarscanner, Laserscanner, Infrarotmessung oder Bildvergleichssysteme realisiert werden, wobei diese mindestens aus Detektoren, Auswertungseinrichtungen und gegebenenfalls mechanischen Ortungshilfen bestehen müssen. Bisher existiert nur eine GFR der Firma Honeywell. Diese Radar-GFR detektiert Hindernisse, indem der Gefahrenraum nach erfolgter Schrankenschließung automatisiert gescannt wird.

## Der Einsatz von Kamera-Technologien

Alternative Konzepte für eine GFR werden sowohl in Deutschland wie auch in anderen Ländern erforscht. Ziel aller identifizierten Ansätze ist es, den Gefahrenraum automatisiert zu überwachen. Bekannt sind Lösungen basierend auf Radar (Radio detection and ranging), Lidar (Laser imaging detection and ranging), Optische

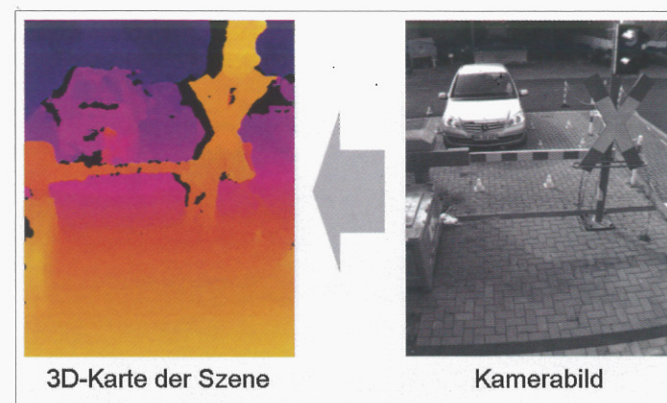


RCAS-Demonstrationsaufbau der Stereo-Kamera an der Front des Zuges

Sensoren, Induktionsschleifen, Ultraschall und Mikrowellentechnologie. Beispielpflicht seien Folgende genannt:

- In einem Vortrag auf dem 2. SELCAT-Workshop 2007 (SELCAT ist ein Projekt der Europäischen Kommission für mehr Sicherheit an europäischen Bahnübergängen) wird ein Forschungsansatz beschrieben, bei dem mit Mono-Kameras Video-Sequenzen mit CCTV (Closed Circuit Television) von einem Bahnübergang aufgezeichnet und nachträglich mit einer Bildverarbeitung erweitert wurden. Die Bildverarbeitung wurde mit einer Segmentierung der Vordergrund-Pixel umgesetzt, wodurch Straßenfahrzeuge, die in dem definierten Bereich des Gefahrenraumes zum Stehen gekommen sind, detektiert werden konnten. Dabei wurde festgestellt, dass Mono-Kamera-Systeme nicht geeignet sind, um zweifelsfrei zwischen Schattenwurf oder Scheinwerferlicht und einem Objekt zu unterscheiden.
- Masuru Ohta führte eine Studie zur Analyse verschiedener Sensoren für den Einsatz zur Hinderniserkennung am Bahnübergang durch. Das Ergebnis dieser Arbeit war, dass ein Stereo-Kamera-System die besten Eigenschaften aufweist und zur Erkennung von Menschen und Fahrzeugen eingesetzt werden kann. Ohta führt weiterhin praktische Erfahrungen mit optischen Systemen zur Hinderniserkennung im Gefahrenraum in Japan an, welches ein Stereo-Kamera-System zur Objektidentifikation nutzt.
- Von Shigeto Hiraguri und Kazutoshi Sato sind weitere Ansätze zur Hinderniserkennung in Japan bekannt. Sie beschreiben unter anderem den Einsatz von Laser und Induktionsschleifen zur Hinderniserkennung im Gefahrenraum und die Übertragung zum Schienenfahrzeug.
- Aus Israel ist ein Ansatz bekannt, bei dem mit einem Sensorverbund, bestehend aus Induktionsschleifen zur Objekterkennung und einem kamerabasierten optischen System zur Objektverfolgung, der Bereich des Bahnübergangs detektiert und Hindernisse erkannt werden. Der Ansatz beschreibt darüber hinaus die Möglichkeit, Live-Bilder zu einer Leitstelle zu übermitteln.

Anhand der oben genannten und anderer Arbeiten scheinen insbesondere optische Systeme (Kamera-Sensoren und dazugehörige Bildverarbeitungsprogramme) für den zukünftigen Einsatz am Bahnübergang geeignet zu sein, da die Entwicklung der



3D-Karte und Kamerabild eines DLR-Versuchsaufbaus

dafür erforderlichen Bildverarbeitungssysteme einen nutzbaren Stand erreicht hat. Insbesondere der Einsatz im Automobilbereich hat in den letzten Jahren zu einer höheren Verfügbarkeit von optischen Systemen zur Hinderniserkennung geführt. Hinzu kommt eine deutliche Steigerung der Rechnerleistung, wodurch Echtzeit-Rechnungen durchführbar sind.

Auch in Punkto Sicherheit der optischen Systeme wurden entscheidende Fortschritte erzielt, da diese bei der Überwachung von Produktionsstätten hohe Sicherheitsanforderungen erfüllen müssen. Hier muss die Entwicklung weitergehen, da die hohen Sicherheitsanforderungen (SIL: Safety Integrity Level) an Systeme zur Gefahrenraumüberwachung bisher nicht nachgewiesen werden konnten. Ein weiterer Vorteil ist die Mehrfachausnutzung der Sensordaten: So kann beispielsweise mit einem Sensorsystem ein Hindernis erkannt und gleichzeitig der Abstand zu diesem bestimmt werden.

Das DLR entwickelt ein System zur Vermeidung von Kollisionen zwischen Schienenfahrzeugen. Das Projekt RCAS (Railway Collision Avoidance System) soll mit Hilfe genauer Ortungsinformationen und so genannter Zug-zu-Zug-Kommunikation zunächst Kollisionsgefahren von Zügen detektieren. RCAS nutzt hierfür unterschiedliche Sensoren, unter anderem eine Stereo-Kamera mit aus dem Forschungsumfeld der Robotik stammender Bildverarbeitung zur Erstellung einer Tiefenkarte. Für RCAS wurde dieses Stereo-Kamera-System zur Gleis-/Weichenerkennung weiterentwickelt und unterstützt eine hochgenaue Positionsbestimmung basierend auf einem integrierten Multisensor-System und robuster Bildauswertung in Echtzeit. Während der Bildverarbeitung können unterschiedliche Informationen aus den Bilddaten ermittelt werden, weshalb ein Stereo-Kamera-System parallel für verschiedene Aktionen genutzt werden kann. Das System wird bei RCAS an der Spitze eines Schienenfahrzeuges installiert.

Die DLR-Forscher entwickeln diese Stereo-Kamera-Technologie zur Bahnübergangssicherung weiter. Das Stereo-Kamera-System soll dort in Echtzeit eine Karte erzeugen, die für jeden beobachteten Objektpunkt dreidimensionale Koordinaten enthält. Eine Analyse dieser räumlichen „Punktwolke“ ermöglicht eine schnelle und zuverlässige Interpretation des aktuellen Geschehens am Bahnübergang. Objekte im Gefahrenraum können so detektiert und klassifiziert werden. Da das Stereo-Kamera-System nur den Nahbereich im Visier hat, ergeben sich keine witterungsbedingten Einschränkungen. Nachts stellt





Versuchsaufbau der Stereo-Kamera an einer Anrufschränke

eine Infrarotbeleuchtung den Betrieb sicher. Mit der erzeugten 3D-Karte wird jedem Bild-Pixel eine Entfernungsinformation zugeordnet, woraus dann die Information „Abstand der Objekte zum Sensor“ ermittelt wird, so dass die Voraussetzungen für eine Hinderniserkennung auf Basis von Abstandsmessungen gegeben sind (Abbildung Seite 31, rechts: Rote Bildbereiche sind näher am Sensor als blaue). Dies führt zu dem Schluss, dass Stereo-Kamera-Systeme für den Einsatz zur Gefahrenraumüberwachung und -freimeldung prinzipiell geeignet sind.

Auch eine Live-Übertragung der Geschehnisse am Bahnübergang in eine Zentrale ist möglich. Damit kann ein Bediener in der Zentrale bei Störungen der automatischen Auswertung des Stereo-Kamera-Systems, bei extremen Witterungsbedingungen oder auch bei einem Defekt der Bahnübergangstechnik gezielt eingreifen und im Notfall Rettungskräfte koordinieren.

Da die verwendeten Kamera-Sensoren in einer Vielzahl von technischen Systemen (zum Beispiel in Fotoapparaten) seit Jahren zum Standard gehören, ist davon auszugehen, dass diese Technologie in den kommenden Jahren nicht obsolet wird, eine Grundvoraussetzung für den Einsatz im Bahnbereich.

## Verfahren „Anrufschränke“

Ein weiterer Ansatz der DLR-Wissenschaftler ist die Automatisierung von so genannten Anrufschränken. Bislang öffnet ein im Stellwerk befindlicher Bediener die Schranken, nachdem ein Kfz-Führer oder Radfahrer per Gegensprechanlage signalisiert hat, dass er die Gleise überqueren will. Bei fortschreitender Automatisierung des Bahnbetriebs können die Bediener die Freischaltung an den Anrufschränken nicht mehr übernehmen – die Anrufschränke hätte ausgedient.

Das DLR untersucht hierfür eine Alternative. Wissenschaftler der DLR-Institute für Verkehrssystemtechnik und für Robotik und Mechatronik arbeiten an der eisenbahnbetrieblichen Einbindung der Stereo-Kamera-Technologie. Das DLR-Projekt optiBÜSA – optimierte Bahnübergangssicherung nach dem Anrufschränkenprinzip – strebt erstmals eine Ablösung der Anrufschränke im Rahmen einer Funktionsdemonstratorstudie an (beispielhafter Versuchsaufbau, Abbildung oben). Durch die Einbindung des aus der Robotik stammenden Technologiekonzepts zur Hinderniserkennung wird die Möglichkeit zur Umsetzung des bedarfsgesteuerten Sicherungsverfahrens

nach dem Anrufschränkenprinzip beschrieben. Mit der Arbeit wird das Ziel verfolgt, eine geeignete Optimierungsstrategie für die Ablösung der Anrufschränken aufzuzeigen und eine erfolgreiche Entwicklung auf Basis von Industriekomponenten (hier Stereo-Kamera-Technologie) zu ermöglichen.

In einem ersten Schritt soll die Technologie die Absicht des Kfz-Verkehrs zum Überqueren der Schienen erkennen und an die Sicherungstechnik weiterleiten, wo die Zuglage überprüft wird. In Schritt zwei muss das System registrieren, dass das Kfz den Bahnübergang überquert hat. Dazu muss es den Gefahrenraum scannen und frei von Hindernissen melden.

## Zusammenfassung und Ausblick

Das Eisenbahnsystem ist durch eine stetige Weiterentwicklung geprägt, die eine deutliche Steigerung der Systemsicherheit bewirkt hat. Dies ist unter anderem darin begründet, dass der Mensch bei der Umsetzung sicherheitskritischer Funktionen von technischen Systemen unterstützt wird bzw. durch diese ersetzt wurde. Auch zukünftig werden intelligente Technologien und leistungsstarke betriebliche Verfahren benötigt, die eine hohe Sicherheit ermöglichen und darüber hinaus zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit sowie höheren Leistungsfähigkeit der Schieneninfrastruktur beitragen.

DLR-Forscher beteiligen sich an der Entwicklung innovativer Sicherungsmöglichkeiten für Bahnübergänge und unterstützen so auch die Arbeiten der DB Netz AG. Optische Systeme werden bislang nicht für sicherheitsrelevante Aufgaben im Bahnsystem eingesetzt. Die Entwicklung dieser Komponenten sowohl in der Industrie als auch im Automobilbereich lassen attraktive Anwendungsbereiche im Bahnsektor vermuten. Das Projekt optiBÜSA wird eine mögliche Nutzung eines Stereo-Kamera-Systems demonstrieren. Eine Erweiterung des RCAS-Ansatzes auf die Bahnübergangssicherung ist ein weiteres Forschungsfeld des DLR. Zur Erprobung dieser und weiterer innovativer Konzepte zur Bahnübergangssicherung entsteht in Braunschweig ein Forschungsbahnübergang im Rahmen der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM). Dieser wird Forschungseinrichtungen, Herstellern und Betreibern für ihre Zwecke zur Verfügung stehen. ■

### Literatur

- Dambietz, Harald: Herausforderungen bei der Planung von Bahnübergangssicherungsanlagen bei der Deutsche Bahn AG. „Sicherheit an Bahnübergängen – Stand und Herausforderungen“, 16. Veranstaltung der Fachtagungsreihe „Entwicklungen des Sicherungswesens in Theorie und Praxis“, Dresden, 2010
- Machy, Caroline; Desurmont, Xavier; Delaigle, Jean-Francois: Introduction of CCTV at Level Crossings with automatic detection of potentially dangerous situations. Vortrag, 2nd SELCAT Workshop – Technology, Marrakesch, 2007
- Ohta, Masaru: Level Crossings Obstacle Detection System Using Stereo Cameras. In: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI, Vol. 46, No. 2), 2005
- Hiraguri, Shigeto; Sato, Kazutoshi: Current Status of Level Crossing Accidents and Solutions for Enhancing LC Safety in Japan. Vortrag, 10th World Level Crossing Symposium, Paris, 2008
- eldor Communication Technologies Ltd.: C.A.S.A. – Collision Avoidance & Safety Alert – A System for Level Crossing. Produktblatt, URL: [www.eldor-il.com](http://www.eldor-il.com), Israel, 2008